

汙泥容積指數(SVI)與活性汙泥特性之關係

陳秋揚*

摘要

本文利用二個實驗室與十二個污水處理廠的活性汙泥，以求出絲狀菌、膠羽大小、以及懸浮固體濃度對活性汙泥容積指數(SVI)測定值的影響，同時亦觀察SVI與汙泥層沉降速度之關係。試驗用的汙泥濃度(SS)介於 $700\sim4800\text{ mg}/\ell$ ，結果顯示當絲狀菌之絲長與濃度值小於 $10^7\text{ }\mu\text{m}/\text{mg SS}$ 時，對SVI測定值沒有影響，若絲長與濃度值大於 $10^7\text{ }\mu\text{m}/\text{mg SS}$ ，則SVI測定值隨絲狀菌濃度之增加而急劇增高。

當絲長與濃度值小於 $10^7\text{ }\mu\text{m}/\text{mg SS}$ 時，於前述之汙泥濃度範圍內，SVI測定值與生物膠羽大小有關，若絲長與濃度值大於 $10^7\text{ }\mu\text{m}/\text{mg SS}$ ，則SVI測定值不受膠羽大小的影響。

此外，SVI測定值與懸浮固體濃度關係曲線之形狀亦與絲長有關。本文最後並提出SVI測定值與汙泥層沉降速度在不同懸浮固體濃度下之關係，可供活性汙泥系統操作上之參考。

一、前言

在活性汙泥系統操作及研究上，汙泥容積指數(SVI)常用來表示活性汙泥之沉降特性，如今有許多學者已證實SVI不能真正指示出活性汙泥的沉降特性。Dick & Vesilind(1969)發現SVI可作為廠內控制的有用參數，但不能用在比較不同處理廠之汙泥沉降特性，也不能預估二級沉澱池之底流固體濃度，以決定汙泥迴流率。Schaffner & Pipes(1978)報告實際處理廠實驗結果，從SVI計算底流固體濃度，十一次測值中，僅一次相符，六次較低，四次較高。雖然如此，SVI仍廣泛的被用為標準方法，此乃由於對於缺乏良好訓練之操作者較易於分析之故。

SVI與活性汙泥中的生物、化學、物理等特性相互影響，因此很難觀察出SVI與任何一種因子有固定關係存在。Dick & Vesilind(1969)報告指出，SVI隨汙泥物理性質而變化，例如塑性黏滯度與產量強度。SVI會隨著塑性黏滯度及產量強度增加而增加，但此種關係並非所有汙泥皆盡然。

在處理廠控制上，SVI決定汙泥的狀況及是否有鬆化現象(bulking)發生。鬆化汙泥的SVI值大於 100 ml/g ，並且大多數例子中證明此汙泥中存在過量的絲狀菌。SVI與絲狀菌數量有明確關係，當SS濃度在 $1000\sim1600\text{ mg}/\ell$ ，絲長與濃度值超過 $10^7\text{ }\mu\text{m}/\text{mg SS}$ 時，SVI由 100 ml/g 急劇增加。相同的實驗結果亦於很多廢水處理廠中可以看見(Sezgin et al, 1980)。

* 本小組委員

國立中興大學環境工程系教授兼系主任

本文主題之一是探討在不同 SS 濃度下，絲狀菌對 SVI 的影響，另一主題則是決定膠羽大小對 SVI 的影響，並研究污泥層沉降速度與 SVI 值的關係。

二、材料與方法

活性污泥是從二個實驗室活性污泥單元及十二個污水處理廠取得，並調查在不同 SS 濃度下，SVI 與絲狀菌及膠羽大小間的變化情況。實驗室活性污泥處理單元是採用連續式柱狀曝氣槽（直徑 14 cm，高 79 cm，容量為 10.37 ℥）及倒三角錐型之沉澱池（容積 1.1 ℥）。曝氣槽以三葉攪拌器攪拌，並用空氣或氧曝氣，使產生 $83\sim85 \text{ sec}^{-1}$ 之平均速度坡降，種植來自家庭污水處理廠，分析項目根據標準實驗法（Standard Method, APHA, 1976）。

實驗室之沉降試驗是在曝氣槽 SS 濃度為 700, 1100, 1500 mg/ℓ 時進行，因曝氣槽構造就如一沉降柱，因此沉降試驗可直接在曝氣槽中進行，不需移出污泥測定。在沉降試驗中，沉降柱以單葉攪拌器攪拌，速度為 2/3 rpm，污泥液體界面每隔 60 min 記錄一次。SVI 試驗則是在 SS 濃度為 700, 1100, 1500 mg/ℓ 時，以 1 ℥ 量筒，測定 30 min 沉降後之污泥體積。

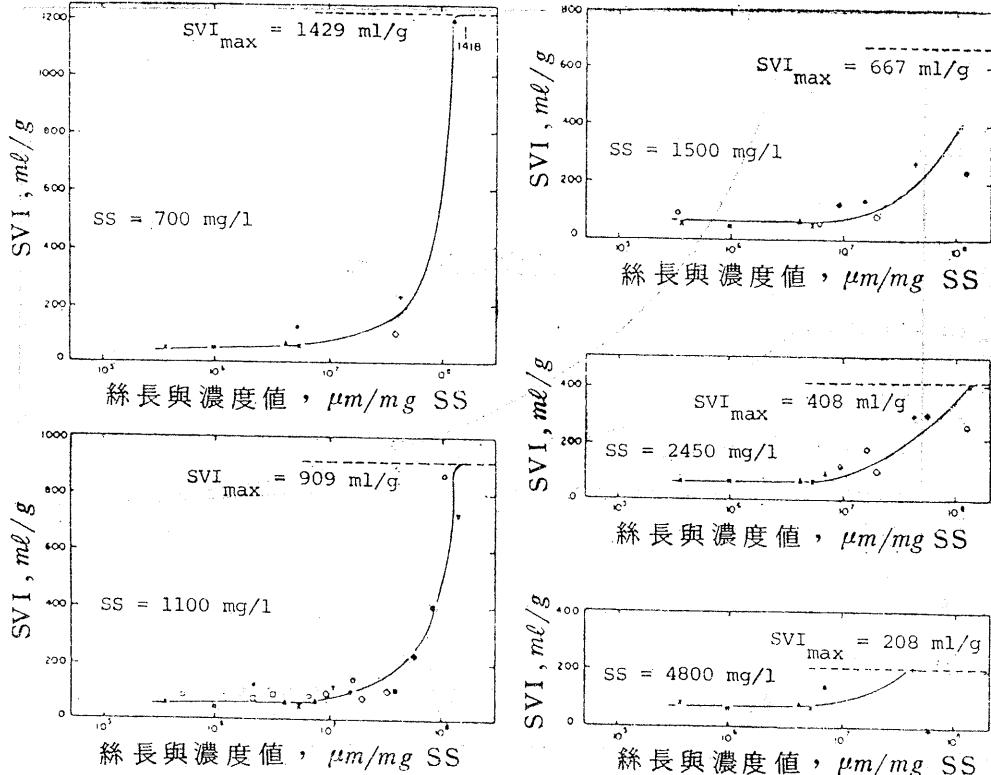
在處理廠部份，四個為家庭污水處理廠，其他為家庭污水與工業廢水之混合處理廠，工業廢水包括食品、金屬電鍍、染整、製革、電子工廠之廢水。

處理廠之活性污泥樣品是由沉澱池之底流管收集，再將 SS 濃度稀釋為 700, 1100, 1500, 2450, 4800 mg/ℓ，沉降試驗則使用與實驗室曝氣槽相同之沉降柱，在沉降試驗前先行攪拌並以 $83\sim85 \text{ sec}^{-1}$ 之平均速度坡降曝氣 15 min，SVI 試驗亦分別在 SS 濃度為 700, 1100, 1500, 2450, 4800 mg/ℓ 時進行測定。

膠羽及絲狀物的記數大小測定，是在稀釋水樣中利用 Sezgin (1980) 描述之方法，測定膠羽及絲狀物之數量與大小。為了增加測定精確度，每一水樣反覆使用，測定四次，實驗結果之平均值與差異係數 (coefficient of variation) 如表一所示。

表一 實驗室分析膠羽大小與絲長之精度

項 目	平 均 值	差異係數 (%)
膠羽數，個/mg	1.1×10^4	20
	5.5×10^4	13
膠羽大小， μm	224	7
	532	9
絲狀物，個/mg	0.7×10^4	24
	33.9×10^4	4
絲長與濃度值， $\mu\text{m } / \text{mg SS}$	3.2×10^5	55
	7.3×10^7	16



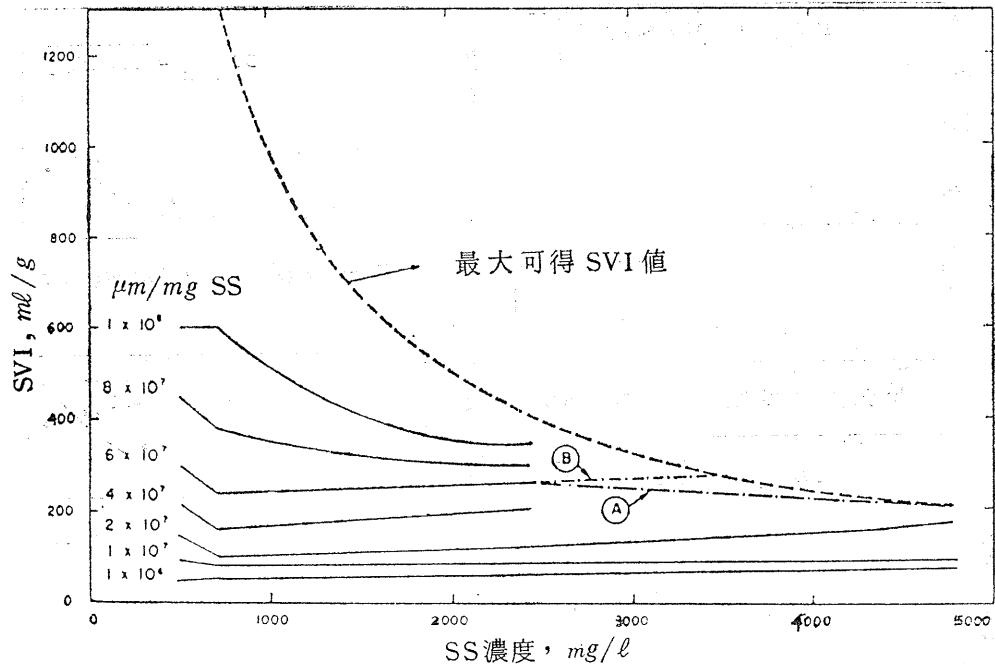
圖一 不同 SS 濃度與絲長對 SVI 值之影響

三、結果與討論

(一) 絲長與 SS 濃度對 SVI 之影響

圖一顯示不同 SS 濃度時，SVI 隨絲狀菌總長度而變化。SS 濃度在 $700 \sim 4800 \text{ mg/l}$ 範圍內，絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg SS}$ ，對 SVI 沒有影響，此時 SVI 小於 100 ml/g 。而當絲長與濃度值超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg SS}$ ，SVI 會隨絲長與濃度值之增加而快速增加。污泥未沉降前，污泥體積常為 1000 ml ，故對 SS 濃度為 $X \text{ mg/l}$ 之污泥，其可得最大 SVI 值為 $\frac{10^6}{X}$ ，因此在固定 SS 濃度下，當絲長與濃度值增加，SVI 將增加至最高界限，然後因體積限制 (1000 ml)，SVI 值成水平變化，如此結果，SVI 與絲長濃度值之關係成 S 形之曲線，曲線之平滑或陡峭，則由絲狀物數量與活性污泥膠羽數量之關係及兩者在沉降過程之相互作用而決定。由圖一可知，當絲長與濃度值超過臨界極限 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg SS}$ 時，SS 濃度低者，S 曲線很陡直，然而 SS 濃度較高者，SVI 隨絲長與濃度值之增加呈現緩慢增加。

由圖一可找出在不同絲長與濃度值時，SVI 與 SS 濃度的關係，示如圖二，SVI 與 SS 濃度之曲線形狀由絲長與濃度值來決定。在中等絲長與濃度值範圍 ($4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mg SS}$)，SVI 與 SS 濃度曲線包含兩部分，一部份上升，另一部份下降。例如，絲長為 $6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mg SS}$ 時，SS 濃度由 700 mg/l 增加至 2450 mg/l ，則 SVI 由 240 ml/g 增加至 260 ml/g 。若 SS



圖二 不同絲長與 SS 濃度對 SVI 值之影響

再繼續由 2450 mg/l 增加到 4800 mg/l ，結果 SVI 反而由 260 ml/g 降至 208 ml/g 。在圖二中，於 $4\sim6\times10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 之絲長與濃度值內，曲線下降部份並未顯示出，此乃因缺少 SS 濃度在 $2450\sim4800 \text{ mg/l}$ 時之 SVI 值。因此在 $4\sim6\times10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 絲長與濃度值內，尚不知是否在 2450 mg/l 時有轉折點（曲線 A）或 SVI 隨 SS 濃度增加而增加（曲線 B）。在較低絲長與濃度值範圍如 $10^6\sim10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 會隨 SS 濃度增加而緩慢的增加。這很有可能是因為在低絲狀物濃度，其 SVI 曲線上升及下降間的轉折點在 SS 濃度為 4800 mg/l 時仍未達到。在較高之絲長與濃度值範圍內，例如超過 $8\times10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ，SVI 會隨 SS 濃度增加而漸減少，但沒有數據能表示出 SS 濃度在 $2450\sim4800 \text{ mg/l}$ 間時 SVI 值之變化。隨絲長及 SS 濃度而產生 SVI 之變化，可由絲狀菌對活性汚泥膠羽之凝聚及污泥沉降兩者的影響來解釋。

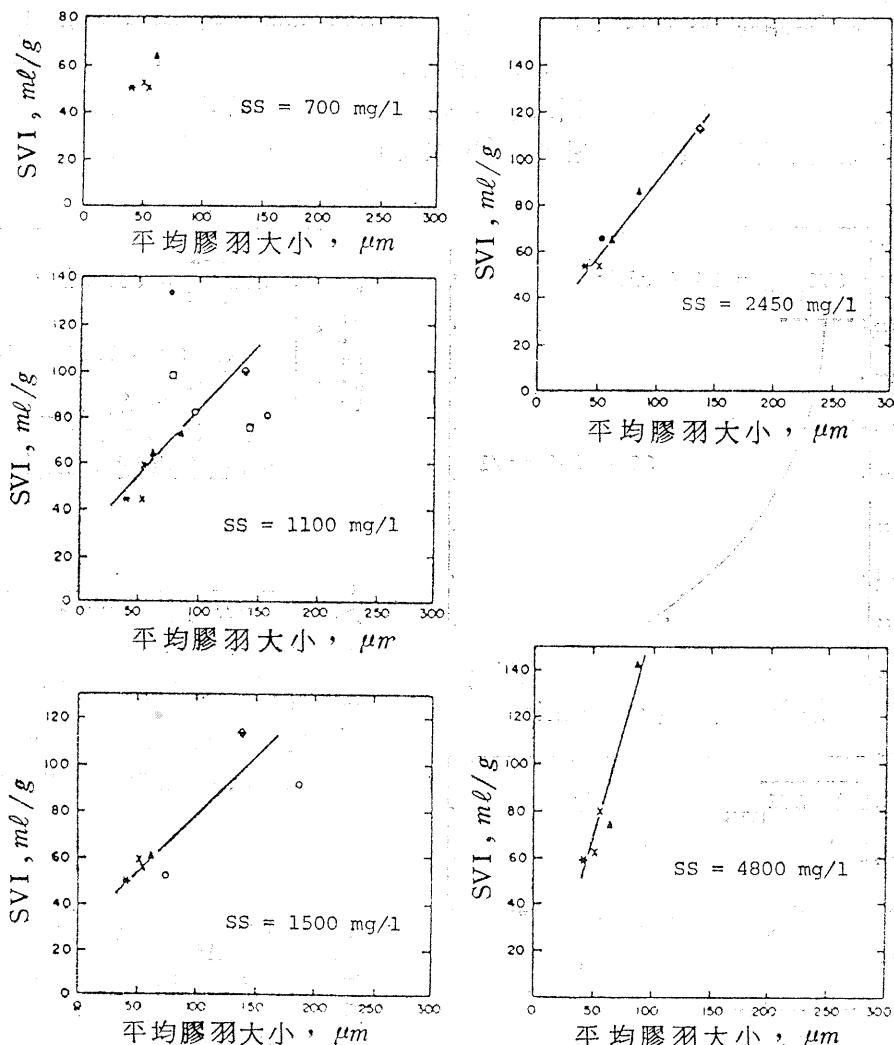
於膠凝過程中有不同形式的聚集形成，這已被認為主要由活性汚泥膠羽中伸出的絲狀菌數量來決定。於伸出之絲長非常短時（絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ），膠羽相互接近會形成粒子與粒子之接觸，因此聚集成高密度的膠羽。當膠羽之絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ，開始接觸是發生於菌絲間及菌絲與膠羽間，因此形成菌絲的聚集及菌絲與膠羽的聚集二種，這些聚集物較鬆且密度低。

在未攪拌之桶分式 (batch) 沉降試驗中，SS 濃度甚低時，仍能產生膠羽間的聚集，如同絲長與濃度值在 $10^6\sim10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，也可得很好的污泥沉降及較低的 SVI 值。然而在此低絲長與濃度值之情況下，隨 SS 濃度增加則 SVI 僅緩慢增加，這可歸因於聚集成膠羽的機會較少所致。Vesilind (1969) 曾解釋濃污泥凝聚力低是因具有親和力之菌絲，因受固體剪力作用而分開，但若污泥緩慢的攪拌，使粒子產生物理性重新排列及增加碰撞機會，則可提高凝聚作用。由於 SVI 是沉降污泥體積與 SS 濃度之比值，因此欲增加 SVI 值，需沉降污泥體積較 SS 濃度

之增加更為快速方可。

於固定 SS 濃度時，增加絲長與濃度值（例如 $10^6 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 增至 $10^8 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ）亦會增加 SVI 值，這是因為形成了膠羽與菌絲及菌絲與菌絲間的聚集，這些凝聚沉澱非常緩慢，故造成較高 SVI 值。

在中等範圍的絲長與濃度值 ($4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線上升部份導因於增加了未能凝聚之污泥，凝聚作用低是因菌絲存在及增加 SS 濃度，且沉降污泥體積比 SS 濃度快速增加，致使 SVI 值升高。另外，絲長與濃度值在 $4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 間或較高之 $7 \sim 8 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，其 SVI 曲線下降部份是由於絲狀菌及 SS 濃度的共同影響，雖然產生低凝聚力之污泥，但沉降污泥體積的增加較 SS 濃度不明顯，SS 濃度增高之結果，SVI 值反而降低。



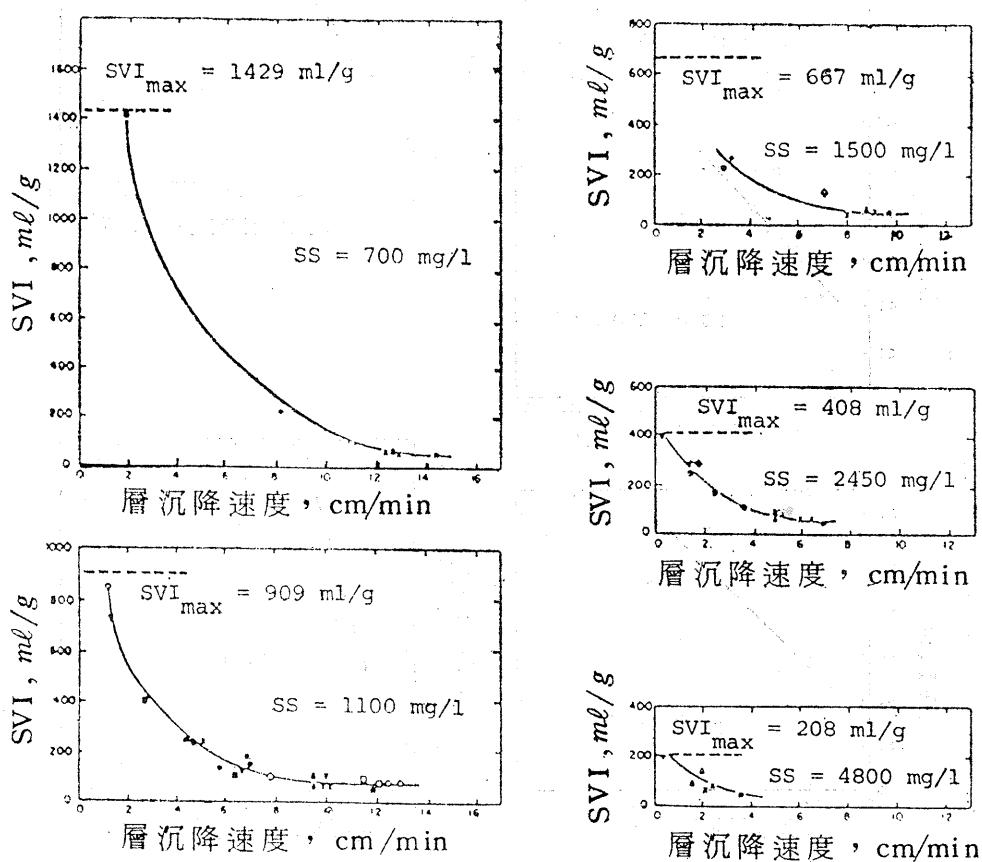
圖三 不同 SS 濃度對 SVI 值與膠羽大小之影響

(二) 膠羽大小對 SVI 的影響

當研究活性污泥之物理特性間可能關係時，發現在絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 與平均膠羽大小有關係存在，如圖三，SS 濃度在 $1100\sim4800 \text{ mg/l}$ 範圍內，SVI 隨平均膠羽大小增加，而在 SS 濃度為 700 mg/l 時，沒有足夠數據表示相同的關係。Jawaheri & Dick (1969) 研究報告指出，隨活性污泥濃縮使得密度有顯著增加，以致凝聚顆粒多而較小。因此，若膠羽密度減少而膠羽增大，則得到上升之 SVI 值（如圖三），然而，平均膠羽大小影響 SVI 值有其極限。

(三) SVI 與層沉降速度的關係

Dick & Vesilind (1969) 曾報告 SVI 與層沉降速度沒有一致的關係，然而本研究在於不考慮任何種類污泥但具有相同 SS 濃度時，層沉降速度與 SVI 間有一致的關係，如圖四。Chao & Keinath (1979) 研究合成基質及實驗室活性污泥單元，發現 SVI 與層沉降速度有相似的關係，而 SVI 是否能代表污泥沉降特性却尚未解決。這些結果指出，假使由桶分式沉降試驗測定之層沉降速度能代表污泥沉降性質，則在相同之 SS 濃度下，SVI 可用為代表近似的污泥特性。



圖四 不同 SS 度時 SVI 值與層沉降速度之關係

四、結論

1. SVI 值受膠羽大小、SS 濃度、絲狀菌之存在等污泥特性所影響。
2. SS 濃度在 $700 \sim 4800 \text{ mg/l}$ 範圍內，當絲長與濃度值超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 增加快速，然而絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，絲狀菌對 SVI 沒有影響。
3. 在固定 SS 濃度下，絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 最初受膠羽大小所影響，SVI 隨平均膠羽大小增加而增加，然而在絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，膠羽大小對 SVI 影響不明顯。
4. 對不同污泥應都具有 SVI 與絲長與濃度值及膠羽大小間的個別關係。
5. 當 SS 濃度在 $700 \sim 4800 \text{ mg/l}$ ，絲長與濃度值在 $10^6 \sim 10^8 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 範圍內，SVI 與 SS 曲線具有下列特性：在中等之總絲長 ($4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線由上升及下降兩部份組成，然而在較低絲長 ($< 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線僅上升，在高絲長 ($> 8 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線僅一直下降。
6. SVI 與污泥層沉降速度有靈敏的關係。

參考文獻

- APHA, (1976) Standard methods for the examination of water and wastewater, 14th edition, American Public Health Association, New York.
- Chao, A. C. & Keinath, T. M. (1979) "Influence of process loading intensity on sludge clarification and thickening characteristics", Water Res., 13, 1213-1223.
- Dick, R. I. & Vesilind, P. A. (1969) "Sludge volume index-what is it?" J. Wat. Pollut. Control Fed., 41, 1285-1291.
- Jawaheri, A. R. & Dick, R. I. (1969) "Aggregate size variations during thickening of activated sludge", J. Wat. Pollut. Control Fed., 41, R197-R214.
- Schaffner, M. W. & Pipes, W. O. (1978) "Underflow rate and control of an activated sludge process", J. Wat. Pollut. Control Fed., 50, 20-30.
- Sezgin, M. (1980) "The role of filamentous microorganisms in activated sludge settling", Prog. Wat. Technol., 12, 97-107.
- Sezgin, M., Jenkins, D. & Palm, J. C. (1980) "Floc size, filament length and settling properties of prototype activated sludge plants", Prog. Wat. Technol., 12, 171-182.
- Vesilind, P. A. (1969) "Quiescent batch thickening of activated sludge in small cylinders", Vatten, 4, 456-462.

附註：本文摘譯自 Water Research, Vol. 16, pp. 83-88, 1982, M. Sezgin, "Variation of sludge volume index with activated sludge characteristics"。本文承蒙林正祥與史麗芬兩位同學幫忙整理，謹此致謝。